

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA  
PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL ALUMINIUM DAN  
TEMBAGA MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR WELDING***



Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Oleh :

**MEGIS HEFRIDHA**

**D 200 120 095**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2018**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA  
PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL ALUMINIUM  
DAN TEMBAGA MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR  
WELDING***

**PUBLIKASI ILMIAH**

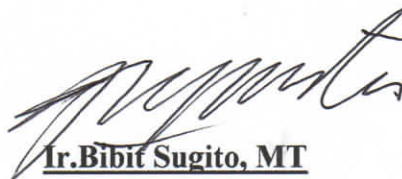
Oleh :

**MEGIS HEFRIDHA**

**D 200 120 095**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing,



**Ir. Bibit Sugito, MT**

## HALAMAN PENGESAHAN

### ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL ALUMINIUM DAN TEMBAGA MENGGUNAKAN METODE *FRICTION STIR WELDING*

**MEGIS HEFRIDHA**

**D 200 120 095**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji**

**Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin**

**Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Pada hari Senin, 16 April 2018**

**Dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji :**


- 1. Ir.Bibit Sugito.,M.T**  
**(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Ir.Sunardi Wiyono.,M.T**  
**(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Ir.Ngafwan.,M.T**  
**(Anggota II Dewan Penguji)**


(.....)

(.....)

(.....)

**Dekan,**

  
**Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.**  
**NIK.682**



## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti atau ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas maka akan saya pertanggung-jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 16 April 2018

Penulis



**MEGIS HEFRIDHA**

**NIM : D.200.120.095**

# **ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENYAMBUNGAN PLAT BEDA MATERIAL ALUMINIUM DAN TEMBAKA MENGGUNAKAN METODE FRICTION STIR WELDING**

## **ABSTRAK**

Tujuan dari penelitian ini adalah agar dapat mengetahui kekuatan sambungan las beda material dengan melakukan pengujian Uji Tarik, Uji Kekerasan Vickers, Dan Struktur mikro pada hasil pengelasan FSW. Pengelasan pada penelitian ini menggunakan material Aluminium seri 1100 dan Tembaga murni dengan tebal 2 mm, Parameter yang digunakan adalah Kecepatan putar spindle 1250 rpm, kecepatan pemakanan 12,5 mm/menit. Hasil Pengelasan dianalisa dengan membandingkan kekuatan sambungan las antara material sejenis dengan material beda jenis. Dari hasil pengujian pengelasan beda material menunjukkan tegangan tarik maksimal sebesar 67,30 Mpa dan regangan maksimalnya sebesar 4,59 % . Untuk pengujian kekerasan daerah pengelasan terjadi peningkatan kekerasan di daerah Stir Zone yang cukup signifikan dibanding daerah HAZ dan logam induk. Struktur mikro pada material beda jenis dari hasil pengujian menunjukkan Adanya percampuran kedua logam di daerah Stir Zone, pada daerah HAZ material Cu mengalami pengecilan butiran dibandingkan butiran HAZ material sejenis, sedangkan pada HAZ material Al mengalami pembesaran butiran dibandingkan HAZ material sejenis .

Kata kunci : FSW, Aluminium dan Tembaga, Struktur Mikro ,Sifat Mekanik

## **ABSTRACT**

The purpose of this research is to is so that can know the power of different material welding connection by doing Tensile Test, Vickers Hardness Test, and Micro Structure on FSW welding. Welding on research uses the material of Aluminum series 6011 and Pure Copper with 2 mm thick. The parameters used are 1250 rpm rotational speed , feed rate speed 12.5 mm / minute. Welding results are analyzed by comparing the strength of welded joints between similar materials with different material types. From the results of different material welding testing showed maximum tensile stress of 67,30 MPa and maximum stretch of 4,59 % . For testing the hardness of the welding area there is a significant increase in hardness in the Stir Zone area compared to the HAZ area and the parent metal. The microstructure on the material dissimilar of test results indicates the presence of mixing of both metals in the Stir Zone area , on the HAZ Cu area the grain size decreased compared the grain size HAZ to material similar, whereas on the HAZ Al area has grain size enlargement compared to HAZ of similar material.

Keywords: FSW, Aluminum and Copper, Micro Structure, Mechanical Properti.

## **I. PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi dibidang manufaktur semakin maju, baik di dalam perakitan maupun perawatan. Seiring kemajuan teknologi dalam bidang manufaktur, membuat pengelasan semakin dibutuhkan. Semakin luas penggunaan las mempengaruhi kebutuhan penggunaan teknologi las. Banyak industri manufaktur yang mengembangkan

teknik teknik pengelasan. Salah satu teknik pengelasan yang relatif baru adalah *Friction Stir Welding* (FSW),

*Friction Stir Welding* (FSW) yaitu proses penyambungan logam dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari gesekan antara *tool* dan benda kerja yang akan disambung. Penyambungan ini terjadi karena pengadukan dua sisi potongan logam yang mulai melunak akibat gesekan. FSW tidak hanya digunakan untuk material yang sejenis, tetapi juga dapat digunakan untuk material tak sejenis.

FSW memiliki beberapa keunggulan dibanding las konvensional atau las fusion (lebur). Keunggulan FSW tersebut antara lain mengurangi percikan api, tidak terbentuk porositas, tidak menggunakan gas apapun dalam proses las, tidak ada perubahan volume material secara signifikan, persiapan pengelasan yang sederhana, tidak membutuhkan logam pengisi dan tidak menghasilkan asap dampak lingkungan yang negatif (Esmaeili dkk, 2011). Dari semua keunggulan yang dipaparkan, FSW sangat sesuai diaplikasikan untuk menyambung material aluminium ataupun menyambung material yang berbeda.

Sebagai Salah satu teknik pengelasan yang relatif baru , pengembangan FSW saat ini masih sangat luas cakupannya. Variabel- variabel yang diteliti sangat bervariasi dan menarik untuk dikembangkan. Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu) adalah dua bahan umum yang banyak digunakan dalam dunia otomotif dan industri kelistrikan .FSW untuk dua material beda jenis antara Aluminium dan Tembaga umumnya masih jarang dilakukan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih luas lagi. Dalam hal ini akan dilakukan penelitian tentang *Friction Stir Welding* antara aluminium dan Tembaga. Diharapkan dari proses FSW ini didapat kesimpulan bagaimana pengaruh dua jenis material yang berbeda disambung menjadi satu terhadap sifat mekanik dan struktur mikronya.

## **2. METODE**

### **2.1 Bahan penelitian**

Material : Aluminium seri 1100 dan Tembaga Paduan

Tool Joint : Baja VCN

### **2.2 Alat penelitian**

Alat pegelasan : Mesin Milling Vertikal

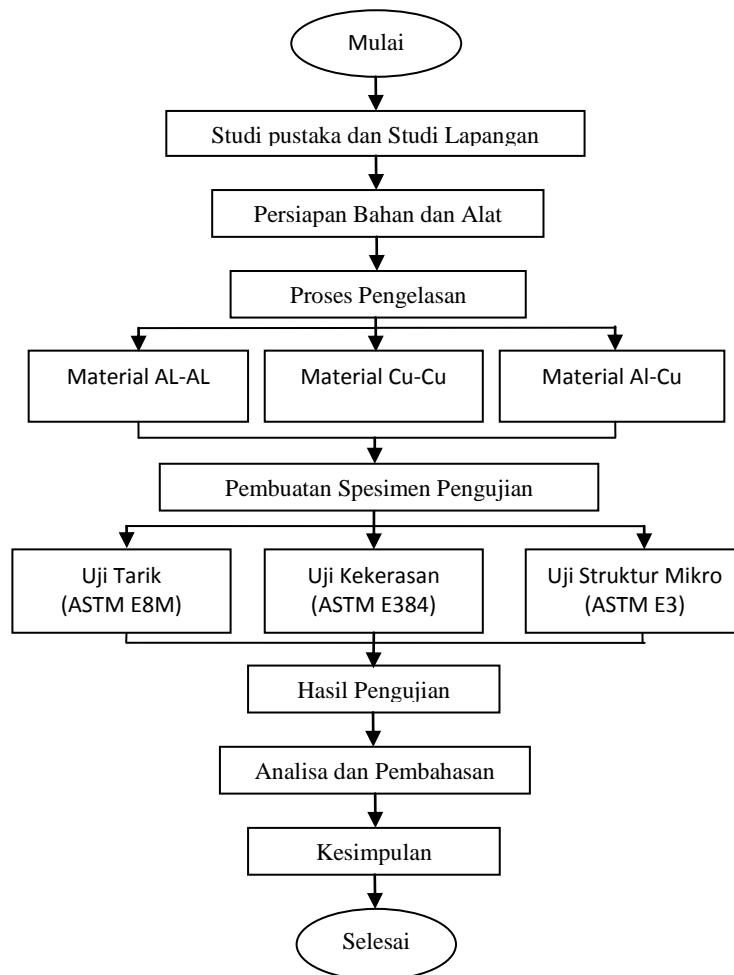
Alat bantu : Alat ukur, mesin potong, kikir , gergaji potong , Infrared Pyrometer, cekam, jangka sorong, kikir, *stop watch*, *resin*, *catalys*, ampelas, kain bludru, *hair dryer*, cairan etsa.

Alat pengujian: mesin *universal testing machine*, *micro hardness vickers*, miskroskop mikro

### 2.3 Tempat penelitian

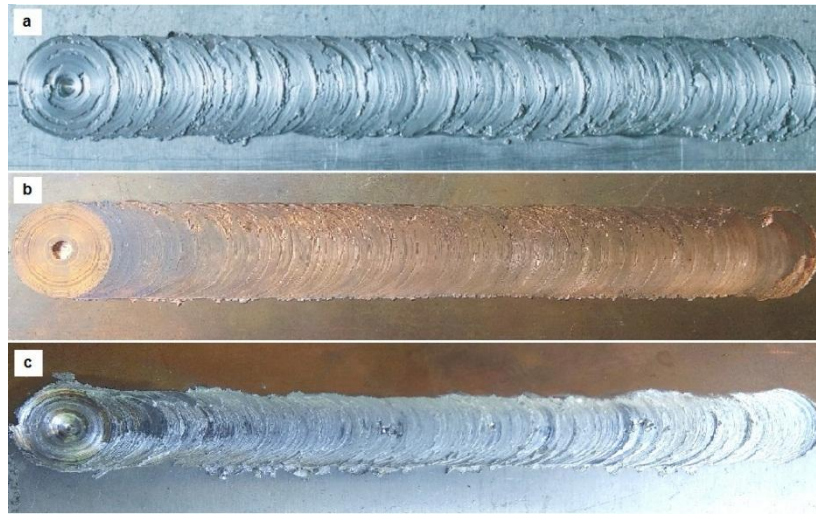
Tempat penelitian : Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Laboratorium Solo Technopark, Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

### 2.4. Proses Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2 Hasil Pengelasan : (A) Pengelasan Al-Al; (B) Pengelasan Cu-Cu; (C)

#### Pengelasan Al-Cu

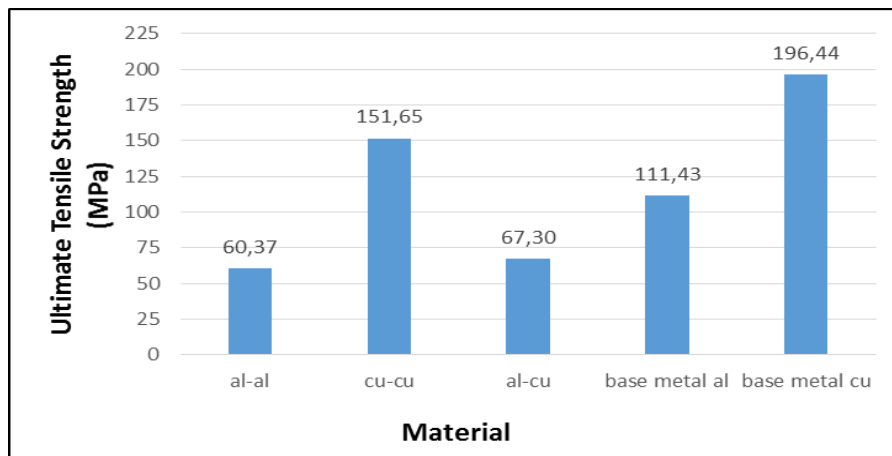
Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Uji Tarik Balai Besar Latihan Kerja Industri Surakarta. Dimensi spesimen uji tarik untuk material pengelasan menggunakan standar ASTM E8M. Data hasil yang diperoleh dari uji tarik berupa nilai tegangan dan regangan sebagai berikut :

Tabel 1 Hasil Pengujian Tarik

Material	No	$A_0$ ( $mm^2$ )	$l_0$ (mm)	$l$ (mm)	Ultimate Tensile Strength (Mpa)	Strain (%)	Rata- rata UTS (Mpa)	Rata-rata Strain(%)
Al-Al	1	12	32	32,95	57,415	2,969	60,37	1,74
	2	12	32	32,24	59,288	0,750		
	3	12	32	32,48	64,402	1,500		
Cu-Cu	1	12	32	37,35	169,014	16,719	151,65	15,00
	2	12	32	38,95	172,816	21,719		
	3	12	32	34,1	113,115	6,563		
Al-Cu	1	12	32	32,85	59,734	2,656	67,30	4,59
	2	12	32	32,86	60,886	2,688		
	3	12	32	34,7	81,287	8,438		
Base metal Al	1	12	32	34,38	117,419	7,438	111,43	7,31
	2	12	32	34,3	105,431	7,188		
Base metal Cu	1	12	32	43,75	185,098	36,719	196,44	40,31
	2	12	32	46,05	207,783	43,906		



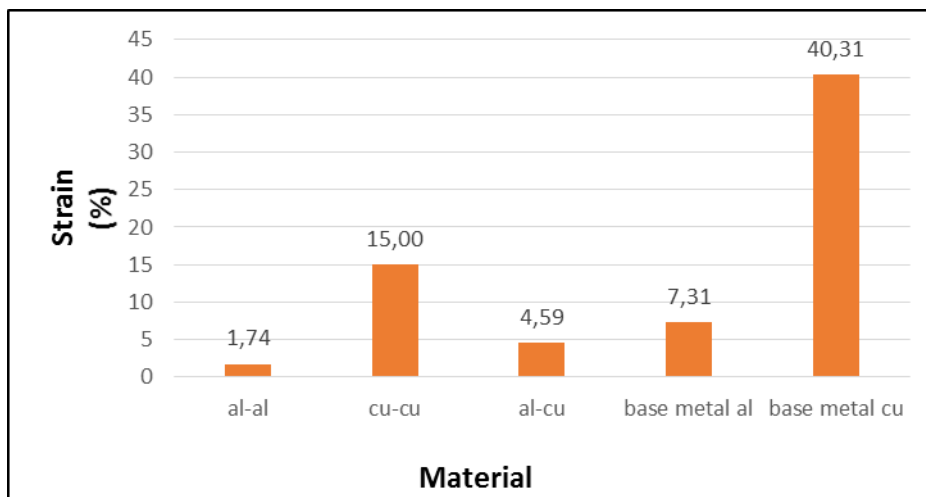
### Tegangan ( *Ultimate Tansile Strength*)



Gambar 3 Histogram tegangan

Dari gambar menunjukkan pada pengelasan FSW beda material memiliki tegangan rata-rata 67,30 MPa , kemudian pada pengelasan Cu-Cu mempunyai tegangan rata-rata 151,65 MPa, sedangkan pada pengelasan Al-Al mempunyai tegangan rata-rata 60,37 MPa. Jika dibandingkan dengan nilai tegangan Al-Al maka nilai tegangan hasil pengelasan FSW beda material masih lebih baik.

### Regangan (*Strain*)



Gambar 4 Histogram regangan

Grafik regangan diatas menunjukkan bahwa nilai regangan pada pengelasan FSW beda material (Al-Cu) mengalami peningkatan cukup signifikan dibanding dengan pengelasan Al-Al tetapi masih jauh dibawah pengelasan Cu-Cu. Patahan pengujian tarik

pengelasan FSW beda material terjadi didaerah Haz Al dimana nilai regangnya sebesar 4,59 %. Untuk nilai regangan terbesar terjadi pada *Base metal* Cu sebesar 40,31 % dan pengelasan Cu-Cu sebesar 15%. Sedangkan regangan *Base metal* Al sebesar 7,31 %, dan regangan pengelasan Al-Al sebesar 1,74 %.

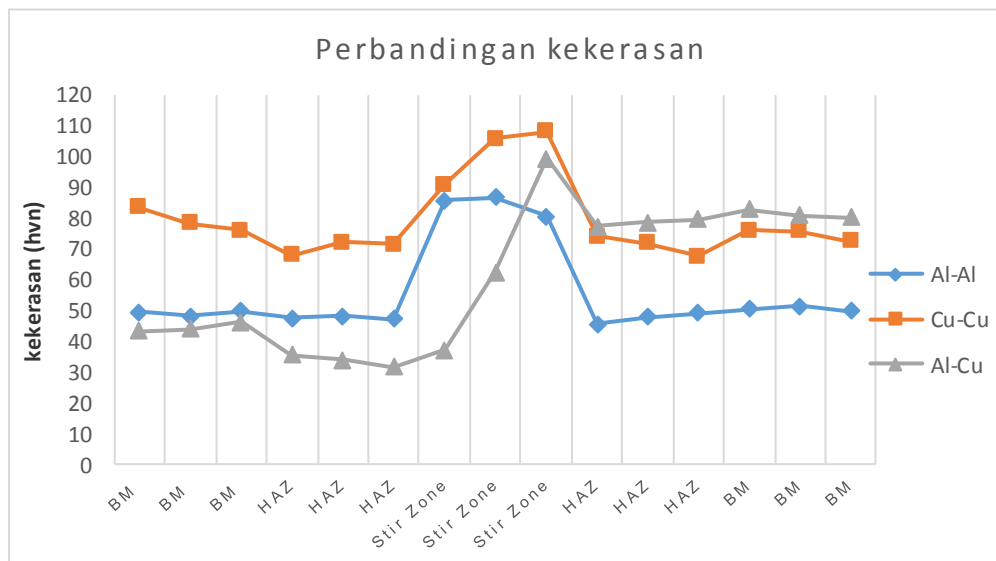
Pengujian Kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji micro *vickers* milik Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro dengan menggunakan parameter, beban yang digunakan sebesar 200 gf, waktu tahan selama 10 detik, tiap daerah terdiri dari 3 titik dan jarak tiap titik uji 1 mm.

Hasil Pengujian Kekerasan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui perbandingan nilai kekerasan pada *Base Metal*, *Haz*, *Stir zone*.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kekerasan

Daerah	Nilai Kekerasan (HVN)		
	Pengelasan		
	Al-Al	Cu-Cu	Al-Cu
<i>BM</i>	49,3	83,3	43,2
<i>BM</i>	48,2	78,1	43,9
<i>BM</i>	49,7	76,08	46,2
<i>HAZ</i>	47,4	67,8	35,4
<i>HAZ</i>	48	72,1	33,9
<i>HAZ</i>	47,2	71,3	31,6
<i>Stir Zone</i>	85,8	90,9	36,9
<i>Stir Zone</i>	86,7	105,9	62,2
<i>Stir Zone</i>	80,4	108,1	99,3
<i>HAZ</i>	45,5	73,9	77,2
<i>HAZ</i>	47,7	71,7	78,5
<i>HAZ</i>	48,9	67,5	79,4
<i>BM</i>	50,4	75,86	82,8
<i>BM</i>	51,3	75,72	80,7
<i>BM</i>	49,6	72,4	80,2

Dari data hasil pengujian kekerasan yang sudah didapat kemudian dibuat sebuah grafik untuk mengetahui perbandingan nilai kekerasan pada *Base metal*, *Haz*, *Stir zone* di ketiga variasi material.

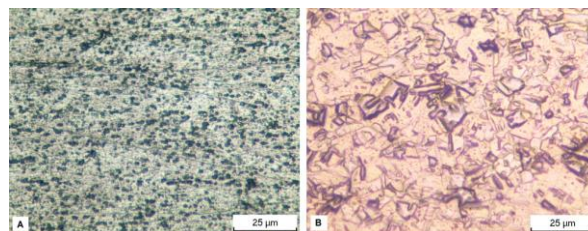


Gambar 5 Grafik perbandingan kekerasan

Dari grafik diatas terlihat terjadi peningkatan nilai kekerasan di daerah *Stir Zone* dibandingkan dengan nilai kekerasan di daerah haz dan Base metal. Peningkatan kekerasan ini disebabkan karena *Stir Zone* adalah daerah yang terdampak langsung oleh panas yang dihasilkan saat pengelasan dan juga daerah yang terdeformasi akibat proses pengadukan dan penekanan dari *tool joint*, dengan adanya penekanan dan pengadukan sehingga butiran – butiran struktur mikronya akan lebih rapat atau padat, sehingga kekerasan juga akan meningkat.

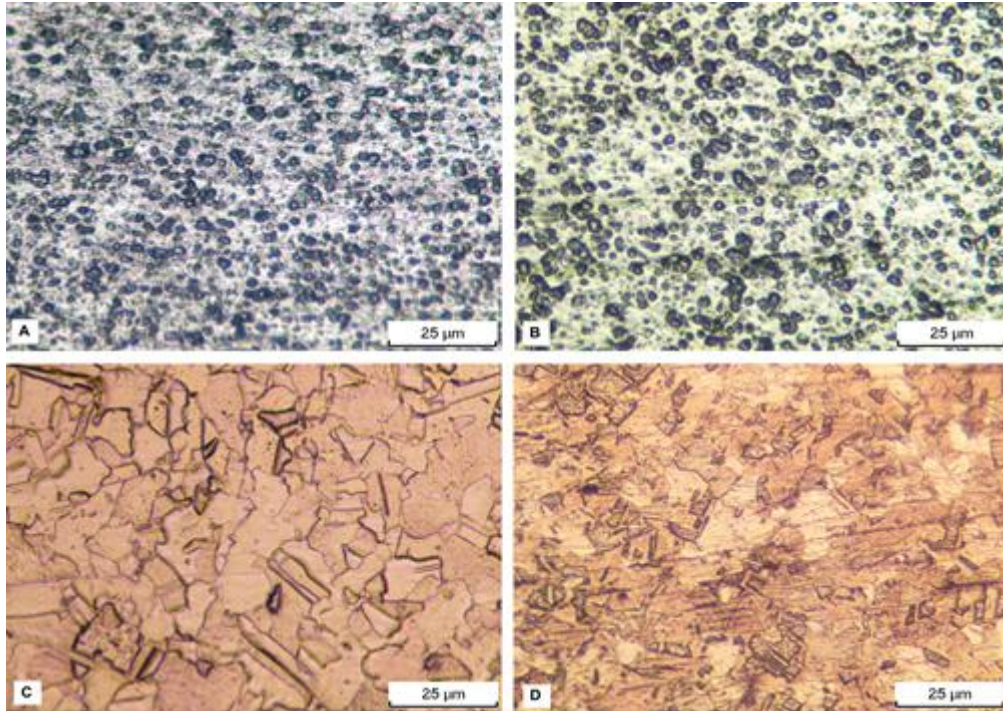
Pengelasan Al-Cu pada material Al kekerasanya lebih rendah dibandingkan kekerasan pada pengelasan Al-Al. Dikarenakan ukuran butir pada pengelasan Al-Cu ukuran butir lebih besar dibandingkan dengan pengelasan Al-Al dan hal ini terjadi karena suhu pengelasan yang lebih tinggi yaitu 235°C.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode FSW, yaitu di daerah *Base Metal*, *HAZ*, dan *Stir Zone*. Berikut perubahan struktur mikro yang terjadi pada hasil pengelasan ketiga variasi:



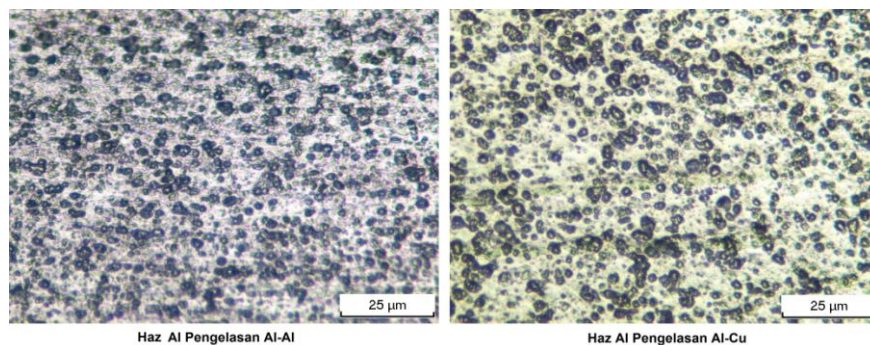
Gambar 6 Base Metal a) Base Metal Alumunium b) Base Metal Tembaga

Base Metal merupakan daerah yang tidak terpengaruh pengelasan baik adukan maupun panas. Pada base Al partikel hitam yang menyebar merata pada matriks aluminium adalah  $\text{FeAl}_3$  menurut *ASM Hand Book Metallography and Microstructures*. Semakin banyak butiran  $\text{FeAl}_3$  yang menyatu semakin sulit pergerakan dislokasi yang terjadi yang nantinya akan mengakibatkan peningkatan kekuatan dan kekerasan logam.



Gambar 7 HAZ a) HAZ Al pengelasan Al-Al b) HAZ Al pengelasan Al-Cu c) HAZ Cu pengelasan Cu-Cu d) HAZ Cu pengelasan Al-Cu

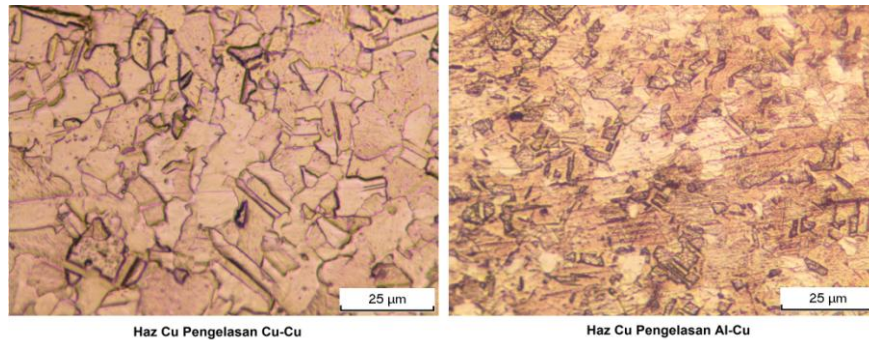
Daerah Haz merupakan daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis. Pada daerah ini juga terjadi perubahan struktur mikronya. Daerah haz akan terjadi perubahan ukuran butir, dimana ukurannya tergantung dari karakteristik material, suhu, lama pengelasan, dan laju pendinginan.



Gambar 8 Perbandingan Ukuran HAZ Al

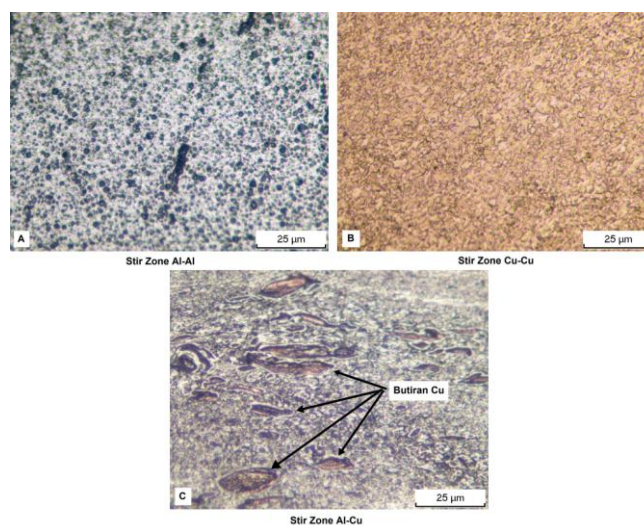


Dari gambar diatas menunjukan pembesaran butir dimana paling besar terjadi pada HAZ beda jenis, ini dikarenakan panas yang dihasilkan dari pengelasan beda jenis mencapai  $235^{\circ}\text{C}$  sedangkan untuk pengelasan sejenis hanya mencapai  $75^{\circ}\text{C}$ . Input panas yang tinggi ini akan mengakibatkan pendinginannya lebih lambat sehingga butiran-butirannya lebih besar yang pada akhirnya menyebabkan penurunan kekuatan pada hasil lasan.



Gambar 9 Perbandingan ukuran HAZ Cu

Daerah HAZ pada material Cu di semua variasi material mengalami pembesaran butir dimana paling besar terjadi pada HAZ pengelasan material sejenis yang disebabkan pada saat pengelasan Suhunya mencapai  $260^{\circ}\text{C}$  paling tinggi diantara pengelasan lainnya. Fenomena pembesaran dan pengecilan butir akan mempengaruhi kekuatan mekanik pada material tersebut. dimana semakin besar diameter butir maka kekerasan menurun. Semakin kecil ukuran diameter butir, semakin tinggi nilai kekerasan, kekuatan luluh, kekuatan tarik.



Gambar 10 Stir Zone a) Stir Zone pengelasan Al-Al b) Stir Zone pengelasan Cu-Cu c) Stir Zone pengelasan Al-Cu

*Stir Zone* adalah daerah yang terdampak langsung oleh panas yang dihasilkan saat pengelasan dan juga daerah yang terdeformasi akibat proses pengadukan dari pin tool joint. Dari *Stir Zone* ketiga variasi material diatas menunjukkan Butiran lebih halus dari pada butiran HAZ dan Base Metal. Butiran yang halus strukturnya cenderung lebih rapat sehingga ikatan antar atomnya lebih kuat, pada *Stir Zone* pengelasan AL-Cu terlihat butiran Alumunium dan tembaga bercampur ini menunjukkan bahwa deformasi plastis telah terjadi selama pengelasan FSW.

#### **4. PENUTUP**

##### **4.1 Kesimpulan**

Kekuatan tarik maksimal dari hasil pengelasan beda material material antara Al-Cu adalah sebesar 67,303 Mpa. Sedangkan nilai regangan maksimal sebesar 4,59 %, Nilai kekerasan pada daerah pengelasan material Al-Cu mengalami fluktuatif dimana nilai kekerasan tertinggi sebesar 99,3 HV di daerah *Stir Zone* sedangkan nilai kekerasan terendah 31,6 HV di daerah Haz sisi alumunium, Dari pengamatan foto mikro diketahui bahwa bentuk butir pada daerah *Stir Zone* menjadi lebih halus dan merata dibanding daerah HAZ dan Base Metal hal ini terjadi karena pengaruh adukan *tool joint* dan panas saat proses pengelasan. Pada *Stir Zone* pengelasan Al-Cu ,butiran Alumunium dan tembaga bercampur,ini menunjukkan bahwa deformasi plastis telah terjadi selama pengelasan FSW, Kekuatan sambungan pengelasan Al-Cu tampak lebih kuat dibandingkan dengan pengelasan Al-Al, terlihat dari hasil kekuatan tariknya. Struktur Mikro pengelasan Al-Cu,butiran pada daerah HAZ berubah kecil pada Alumunium, sedangkan pada Tembaga berubah menjadi besar, dibandingkan pengelasan material sejenis (Al-Al dan Cu-Cu).

##### **4.2 Saran**

Pencekaman benda kerja harus sekuat mungkin karena penetrasi awal *tool joint* menghasilkan getaran yang besar sehingga material rawan bergeser.

Saat setting awal diusahakan material dan tool joint sejajar agar saat pengelasan hasilnya bisa rata karena *tool joint* sejajar dengan material, Agar *tool joint* tidak patah, Penetrasi awal harus hati-hati karena panas yang dihasilkan belum cukup untuk melunakan material sehingga perlu waktu untuk memasukan *tool joint*, setelah melakukan pengelasan *tool joint* perlu dicek keausannya secara berkala agar mendapatkan hasil pengelasan yang maksimal, Diperlukan alat pengukur suhu yang

lebih akurat seperti penambahan *thermocouple*, karena menggunakan pengukur suhu *spot infrared thermometer* kurang akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials, 2003, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material*, ASTM, E8M-04
- American Society for Testing and Materials, 2002, *Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Material*, ASTM, E384-99.
- American Society for Testing and Materials, 2001, *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, ASTM, E3-01.
- Amini ,A., Asadi,P.,Zolghadr,P., and Noor,P.,2014, *Fricition Stir Welding in Industry*, University of Tehran,Iran.
- Mishra, R.S., Ma, Y.z, 2005, *Friction Stir Welding And Processing Materials Science and Engineering*, R 50: 1–78.
- LI Xia-wei, ZHANG Da-tong, QIU Cheng and ZHANG Wen., 2011, *Microstructure and mechanical properties of dissimilar pure copper/1350 aluminum alloy butt joints by friction stir welding*.
- Rajakumar, S., dan Balasubramanian, V., 2012, *Correlation between weld nugget grain size, weld nugget hardness and tensile strength of friction stir welded commercial grade aluminium alloy joints*. Materials and Design 34: 242–251.
- Scoot , D.A., 1991, *Hand Book Metalography and Microstructures* ,Tien Wah Press, Ltd,Singapore.
- Wiryosumarto, H., Okumura, T., 1994,*Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ke-6, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.